

단지조성 토공분야 건설 자동화 기술 도입을 위한 로드맵 수립

임동희* · 윤희천** · 김석규*** · 서종원****

Im, Dong Heui*, Yun, Hee-Cheon**, Kim, Seok-Kyu***, Seo, Jongwon****

A Roadmap Establishment for the Acceptance of Land Development Earthwork Construction Automation Technology

ABSTRACT

Land development is an essential process to provide lands for housing, industrial, and tourism complex. The development and application of construction automation technology in land development construction are, however, not matured yet. Since land development requires massive investment in terms of cost and effort, the benefits of implementing earthwork construction automation technology could also be enormous. As such, the deployment of advanced technology needs to be assessed. In this paper, by investigating domestic and international advanced earthwork technology, 8 candidate technologies to be developed is derived. These technologies are then prioritized using AHP and web-based survey that distributed to experts in the field of civil and infrastructure. As a result, advanced earthwork fleet management platformization and tele-operation systems for unmanned earthwork are identified as the top priority. Besides through sensitivity analysis, the trends of the technology rank by the weight distribution of the evaluation factor is investigated. Consequently, the research and development processes for the earthwork construction automation technology in land development are explored and based on the results, the research and development road map plan is established.

Key words : Construction automation, Land development, Earthwork, Roadmap, Research and development

초 록

단지조성은 택지, 산업, 관광단지 등을 조성함에 있어 반드시 필요하다. 그러나 단지조성에서의 건설자동화기술 개발 및 적용은 다소 느린 편이다. 단지조성에 막대한 예산과 자원이 투입되는 만큼, 토공분야 건설자동화기술 적용을 통해 거둘 수 있는 긍정적 효과는 매우 크므로 단지조성 토공부문 건설자동화 기술을 우선적으로 개발해야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 국내의 선진 토공 기술을 조사하여 개발 필요성이 있는 8가지 후보기술을 도출 하였으며, 이를 AHP와 연구개발부문 중사자를 주 대상으로 설문을 통해 기술 우선순위를 도출하였다. 그 결과 건설자동화 수준별 맞춤 관제 기술과 관제 플랫폼화 기술이 가장 높은 우선순위로 나타났으며, 민감도 분석을 통해서 평가 요인별 기중치에 따른 순위 변화 추이도 분석하였다. 이를 통해 단지조성 토공부문 건설자동화 기술의 연구개발 추진 및 로드맵을 수립하였다.

검색어 : 건설자동화, 단지조성, 토공, 로드맵, 연구개발

* 정희원 · 한국토지주택공사, 단지기술처 처장 (Korea Land & Housing Corporation · dhlhm@lh.or.kr)

** 종신회원 · 충남대학교 토목공학과 교수 (Chungnam National University · hcyoon@cnu.ac.kr)

*** 종신회원 · 한국토지주택공사, 단지기술처 부장 (Korea Land & Housing Corporation · sky@lh.or.kr)

**** 종신회원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경공학과 교수 (Corresponding Author · Hanyang University · jseo@hanyang.ac.kr)

Received September 16, 2019/ revised September 24, 2019/ accepted September 26, 2019

1. 서론

국가 발전에 필수적인 주택·산업 단지조성 사업은 일반적인 건설사업보다 개발 기간이 길고 비용도 막대하게 투입된다. 한국토지주택공사가 추진 중인 2019년 현재 도시조성사업의 경우 그 규모가 88개소, 199,983,000 m²로서 총 107만여 가구의 택지공급을 위한 용지개발이 진행중이다(LH, 2019). 이러한 대규모의 단지조성사업은 토공사가 전체의 70~80 %를 차지하며(Hare et al., 2011), 토공사를 효율화 할 수 있는 자동화 기술이 개발되어 적용된다면 거둘 수 있는 비용 절감 효과 및 공기 단축 효과는 매우 클 것이다. 특히 37개의 스마트시티 조성사업을 추진함에 있어 토공부문 스마트 시공 기술들이 적용되면 편리, 안전, 친환경 등을 통한 도시민의 만족도 향상, 효율적인 도시 관리 운영 및 도시 경쟁력 강화의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

이러한 건설산업의 자동화 기술 수요와는 다르게, 국내 건설산업은 타 산업에 비해 고령화 속도가 빠르며, 건설 산업 고령화는 숙련 노동자의 감소로 이어져 생산성 저하를 심화시키고, 초저임금 노동시장에 수요보다 공급이 줄어들게 되자 저임금의 외국인 노동자를 필요로 하게 되어 외국인 노동자의 유입이 급증하고 있다. 여전히 건설 산업은 노무비가 전체 원가의 30~40 %를 차지하며, 타 산업에 비해 숙련공에 대한 의존도가 높은 노동 집약적인 산업이기 때문에 숙련공 부족은 건설 산업의 경쟁력을 약화시키는 주된 요인이다(Myongji University, 2016). 또한, 건설 산업은 특성상 대다수의 청년층에게 3D라는 인식이 강하여 신규 노동자의 유입이 타 산업에 비해서 적고, 나쁜 작업환경 등으로 인해 안전사고 발생률이 높아 국내 청년층들의 건설 산업 기피 현상은 더욱 심화되고 있다(Hanyang University, 2012).

숙련공 부족에 대한 기술적 해결 및 건설 생산성, 품질, 작업환경

등의 향상 방안으로 이미 오래전부터 건설 자동화 및 로봇(Construction Automation Systems and Robot) 활용되어 왔으며, 건설기능인력 수급 불균형 심화, 노무 생산성 저하, 국제 경쟁력 약화, 핵심기술에 대한 해외 의존도 심화 등 건설 산업이 당면하고 있는 문제를 해결하기 위한 기술적 방안으로 건설기계의 자동화가 대두 된지 오래되었다. 특히 세계 건설 산업은 4차 산업혁명 기술과 융합하여 생산성을 향상하고 일자리 창출 및 미래 시장을 선점하기 위한 경쟁이 치열하게 전개되고 있으며, 국내에서도 건설사업의 생산체계 혁신을 위해 드론·BIM·센서·3D 프린터 등 첨단기술을 융·복합한 스마트 건설자동화로 전환을 모색중임을 고려할 때, 본 연구의 대상인 단지조성의 토공부문의 자동화 기술의 적용도 머지않을 것으로 기대된다.

단지조성공사 토공부문 건설자동화 기술의 개발과 현장 적용을 위하여 본 연구에서는 단지조성공사의 토공부문에 적용가능한 건설자동화 기술을 도출하고, 그 기술을 연구개발함에 있어 반드시 선행되어야 할 기술 우선순위 분석을 수행하여, 보다 효율적인 국가 연구개발 자원의 투입과 개발을 도모하고자 한다. 2장에서는 국내의 선진기술들의 현황을 분석함으로써 단지조성공사 토공부문 건설자동화 후보 기술들을 도출하고, 3장과 4장을 통해 AHP 분석, 우선순위 설문 분석을 수행하고 기술간의 우선순위를 도출하였다. 5장에서는 도출된 우선순위가 갖는 의미에 대하여 짚어보고 토공기술 발전을 위한 방향을 모색하였다.

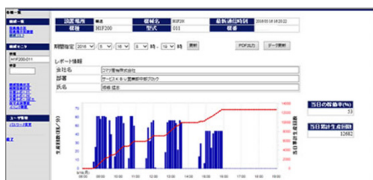
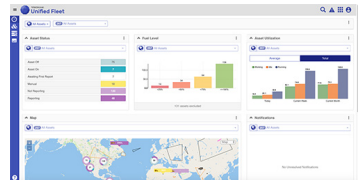
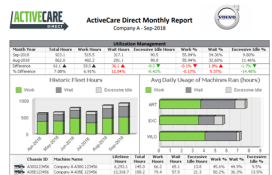
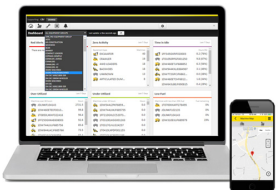
2. 선행기술 분석

2.1 국외 선진 기술

2.1.1 관계기반 생산성 관리 기술

일반적인 토공사는 건설 장비의 의존도가 매우 높다. 따라서

Table 1. Fleet Management Solutions that are Integrated with Construction Equipment

Komatsu Komtrax (Komatsu Ltd., 2019)	Trimble VisionLink (Trimble Inc., 2019a)
	
Volvo ActiveCare (Volvo, 2019)	John Deere JDLink (John Deere, 2019)
	

토공사의 효율에 가장 큰 영향을 미치는 것은 토공 장비의 운영을 효율화 하는 기술의 사용 여부이다. 2000년대 초반부터 건설기계 제조업체에서는 수요자의 요구, 즉 효율화를 가능케 하는 시스템 개발요구를 받아들여 텔레메틱스(Telematics) 기반 건설 장비 관제 시스템을 개발하여 시판해오고 있다. 대표적인 예로는 일본 건설장비 회사인 Komatsu의 Komtrax, Caterpillar와 Trimble의 합작사인 VisionSite Solution에서 VisionLink를 출시한 사례가 있다. 이 외에도 Volvo의 CareTrack, John Deere의 JDLink와 같이 대표적인 건설기계 제조사도 관제 및 자산관리 솔루션을 개발하여 시판중에 있다(Table 1). 건설장비 관제의 궁극적인 목표는 장비의 이동과 작업동선을 효율적으로 관리함으로써 장비의 비생산시간을 줄이고 작업 생산성을 높이기 위함이다. 이들 관제기반 생산성 관리 솔루션의 주요 기능으로는 유지관리 서비스 주기 자동 알림, 위치, 엔진 켜짐/꺼짐 시간과 관련 지도, 유류 사용량, 대시보드 알림 표시, 이상 코드, 구역 이탈 알림, 이동 경로 리포트, 실제 작업 시간(Idle 시간 산정), 작업 모드별 시간 산정, 굴착 시간, 이동 시간, 페이로드 등 건설 장비에서 발생하는 거의 모든 정보를 실시간으로 확인할 수 있도록 하는 서비스를 시판중이다. 이러한 솔루션을 통해 시공사 입장에서 해당 장비의 작업 생산성을 파악할 수 있다는 점에서 효용가치가 크고, 장비 렌탈사와 장비 소유주의 측면에서는 자산관리(Asset Management)의 효용가치가 크다고 할 수 있다. 특히 유지 관리적 관점에서 장비를 더 오래 쓸 수 있다는 점이 가장 큰 장점이다. 그 외에도 장비에 적재되는 하중에 대한 데이터가 입력되고, 입력된 하중을 Sitelink3D, Enterprise3D에 통합하고 계획, 일정 계획 등에 따라 경로를 변경하고 작업이 완료되면 기록 할 수 있다.

2.1.2 건설 장비 자동화 기술

건설 장비 자동화 기술의 솔루션으로는 장비 조종자에게 작업 정보를 네비게이터를 통해 제공하는 머신 가이드스(Machine Guidance)와 이를 토대로 보다 적극적으로 기계를 제어하는 머신 컨트롤(Machine Control)기술 등이 있다. RTK (Real Time Kinematic) GPS와 IMU (Inertial Measurement Unit) 센서를 건설장비에 부착하여 매니퓰레이터(Manipulator)의 정확한 위치를 2-3 cm 이내의 정밀도로 파악하고, 3차원 설계 정보와 병합하여 외부측량 도움 없이 정밀 시공을 가능케 하는 방식이며, 주로 측량기기 제조사와 건설기계 제조사가 함께 기술을 개발하고 있다. 국내외에서 건설장비에 대한 스마트 머신 가이드스 시스템(Smart Machine Guidance System) 기술은 미국, 유럽, 일본을 중심으로 한 업체의 제품위주로 개발 보급되고 있다. 특히, 미국의 경우 American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Caltrans 등의 정부 기관에서 스마트 머신 가이드스 시스템 기술을 적극적으로

로 지원하여 기술력 확보와 시장선도를 이루고 있다. 건설현장에서 건설장비 조종원의 수급이 원활하지 않아서 고령화가 진행되고 있다는 점을 비추어 보았을 때, 건설장비 조종원에게 스마트 머신 가이드스 시스템과 같은 쾌적한 토공작업 기능을 제공하여 이를 극복해야 할 것이다. 솔루션 운영사의 예로는 Leica Geosystems (Leica Geosystems, 2019)의 MCC (Machine Control Construction), Trimble의 Grade Control (Trimble Inc., 2019b) 등이 있다.

2.2 국내 토공 관련 기술

국내에서는 두산인프라코어가 2005년 중국시장에서 처음 텔레메틱스 서비스를 시작한 이후 유럽과 북미시장으로 서비스 지역을 확대해 현재 전 세계 약 4만 6천대의 장비에 텔레메틱스 서비스를 제공 중이며, 2015년부터는 그간 쌓아온 서비스 노하우와 장비 데이터에 독자 개발한 기술을 접목해 업그레이드한 ‘DoosanCONNECT’를 중국, 미국, 유럽시장에 잇달아 출시하였다(Doosan Infracore, 2019) 해외에서는 AutoCAD, Bentley Systems 등 대기업을 선두로 토목 BIM 시장이 활성화 되고 있으며, 국내에서는 Taesung SNI社가 한국, 싱가포르, 카타르, 일본, 홍콩 등 국내외 대규모 SOC 사업에 토목 BIM을 활용 하여 국내 기업으로써 시장에서 많은 활약 중이다. 이와 더불어 국내 R&D 부문 토공 기술의 발전이 두드러지는데, 건설장비 관제기술(Hanyang University, 2018)과 지능형 다점관리 기술(Lee et al., 2018) 등의 토공 자동화 기술들이 개발되었다.

2.3 소결

앞서 살펴본 대로, 대부분의 토공부문 건설 자동화 기술은 건설장비를 효율적으로 관리·제어하기 위한 기술과 건설장비의 작업 효율, 즉 건설장비 작업 생산성 자체를 증가시키기 위한 머신 가이드스 및 머신 컨트롤 기술로 크게 구분된다. 이외에 토목 BIM 기술의 접목(Autodesk), 건설 IoT 센서 활용(i-Construction), 통신 인프라 기술(i-Construction) 등도 단지조성공사 토공부문에서 활용될 수 있는 것으로 조사되었다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 2개의 분류 기준 1) 토공 관제 기술 및 이와 관련된 인프라 기술, 2) 토공 장비 자동화 및 단지조성공사 현장 정보 취득 기술로 구분하고, 각각 4가지 세부기술들을 우선순위 도출의 후보기술로서 제안하였다. Table 2와 같이 각각의 세부기술에 대한 정의를 내렸으며, 이는 3장에서 다룰 설문지에 포함되어 전문가의 평가 의견을 수집할 때 기초자료로 사용되었다.

토공관련 기술은 기본적으로 국가개발사업과 관련이 깊다는 점을 고려한다면, 해당 기술은 국가 연구개발과제로서 추진하는 것이 효율적일 것이며, 탑-다운(Top-Down)방식의 기술 소개 및 전수를 통해 민간부문으로 확대하는 것이 기술적응에 효과적일

Table 2. Candidate Technology for Land Development Earthwork and its Detailed Descriptions

Classification	Technology	Description
1. Earthwork Fleet management and its supporting technologies	1-1 Earthwork fleet management platformization	Based on a current Web-GIS fleet management system, construction information items were integrated into the fleet management system
	1-2 Networking Technology for construction site	An advanced networking systems such as Wi-Fi, Cell, LoRa, NB-IoT that can cover entire jobsite
	1-3 Civil BIM and its related technology	BIM Design integrated solution for land development construction which can further utilized for machine operation and fleet management
	1-4 Earthwork equipment combination assessment considering the different levels of automation	A smart equipment deployment system which take into account the difficult level of task, environment as well as the level of automation of equipment (e.g. traditional equipment, equipment with passive safety features, machine guidance, machine control, tele-operatable equipment, fully-autonomous equipment)
2. Earthwork equipment automation and information acquisition technology for land development construction	2-1 Tele-operation systems for unmanned earthwork	A tele-operable equipment and its remote control station including communication module and remote-control platform
	2-2 Information and communication technology for remote operation of the machine operation (linked to the fleet management system)	A low latency communication module and information integration in relation to fleet operation system
	2-3 Earthwork IoT sensors	Connected sensors for earthwork operation (e.g. displacement sensors, environment sensors)
	2-4 wireless sensors for machine guidance and machine control	Wireless sensor network for IMU and its communication and integration module

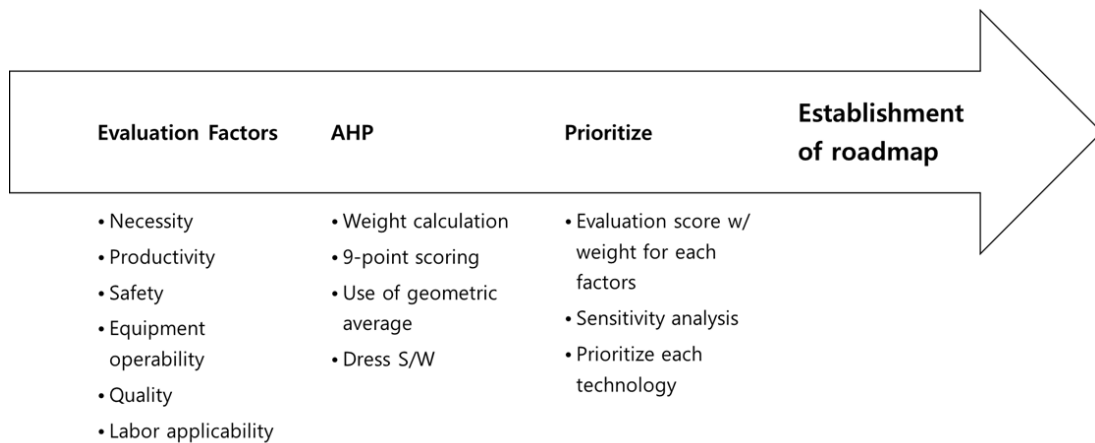


Fig. 1. Establishment of the Road Map for Earthwork Technology

것이다. 국가 연구개발 과제의 자원이 한정적이라는 점을 생각할 때, 상기 기술의 연구개발을 추진하기 위해서는 2개 부문 8개 세부 기술 중에서 필요성, 시급성, 및 각종 효과성을 고려한 우선순위를 평가함이 필수적이다. 본 연구에서는 다수의 연구부문 전문가를 주 대상으로, AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법을 도입하여 기술 요인간의 중요도를 분석하고 우선순위를 분석하였다. 웹기반 설문지를 개발하여 배포 및 수거하여 설문에 소요되는 시간과 자원을 효율화하였으며, 설문 프로세스는 다음의 Fig. 1과 같다.

3. 연구 방법

3.1 설문 대상

본 연구에서는 총 25명의 전문가를 대상으로 설문을 진행하였으며, 총 25명 중 22명은 연구직 종사자이며 평균 5.8년 종사하였으며 100 % 토목공학 전공자로 구성되었다. 이외에도 2명의 설계직군 종사자와 3명의 사공부문 종사자의 설문 정보를 취득하였다(Table 3). 이들 25명의 설문은 연구진의 요청에 의하여 작성되었으며 직접적인 요청에 응한 참가자는 18명이며 나머지 7명은 1차 설문

Table 3. The Number of Responses for Each Work Categorization and Years of Experience

Fields	Number of Responses	Experience (yrs)
R&D	20	6.1
Construction	3	3.5
Engineering	2	5.8

요청에 응한 참가자의 주변인의 설문 데이터로서 최종적으로 25명이 응답하게 되었다.

3.2 설문 방법

3.2.1 AHP

AHP는 Saaty(2008)가 개발한 의사결정 방법론으로써, 다기준 의사결정시 기준간의 가중치를 쌍대비교를 통해 산정하고 이를 토대로 각 대안별 정량 평가와 대안간 순위를 결정하는 데에 널리

활용되고 있다. 설문을 총 2단계로 진행되며, 기술 요인간 중요도 분석을 위한 AHP에는 총 10명이 참여하여, 기술 요인간 쌍대비교를 수행하였다. AHP 분석은 Dress (Ver. 1.7)프로그램이 사용되었으며, 쌍대비교간 기하평균을 이용하여 요인간 가중치를 분석하였다. 본 연구에서 사용한 기술 요인은 5가지 주요 요인(안전, 생산성, 장비 운용성, 노동 활용성, 품질)을 활용하였다. 입력 편의성을 위해 슬라이드 방식을 채택하였으며, 0.5배 단위 눈금으로 보다 정밀한 평가의견을 얻고자 하였다(Fig. 2).

3.2.2 우선순위 설문 방법

8개 세부 기술간의 연구개발 우선순위를 도출하기 위하여, 본 연구에서는 평가 요인을 크게 2개(필요성 및 기대효과)로 나누었다. 첫 번째 필요성은 해당기술이 단지조성 및 택지개발의 토공 부문에 있어 얼마나 시급하게 필요한지 여부를 묻고, 기대효과에서는 다시 5개의 세부요인으로 나누어 평가 요인당 200점 만점으로 평가

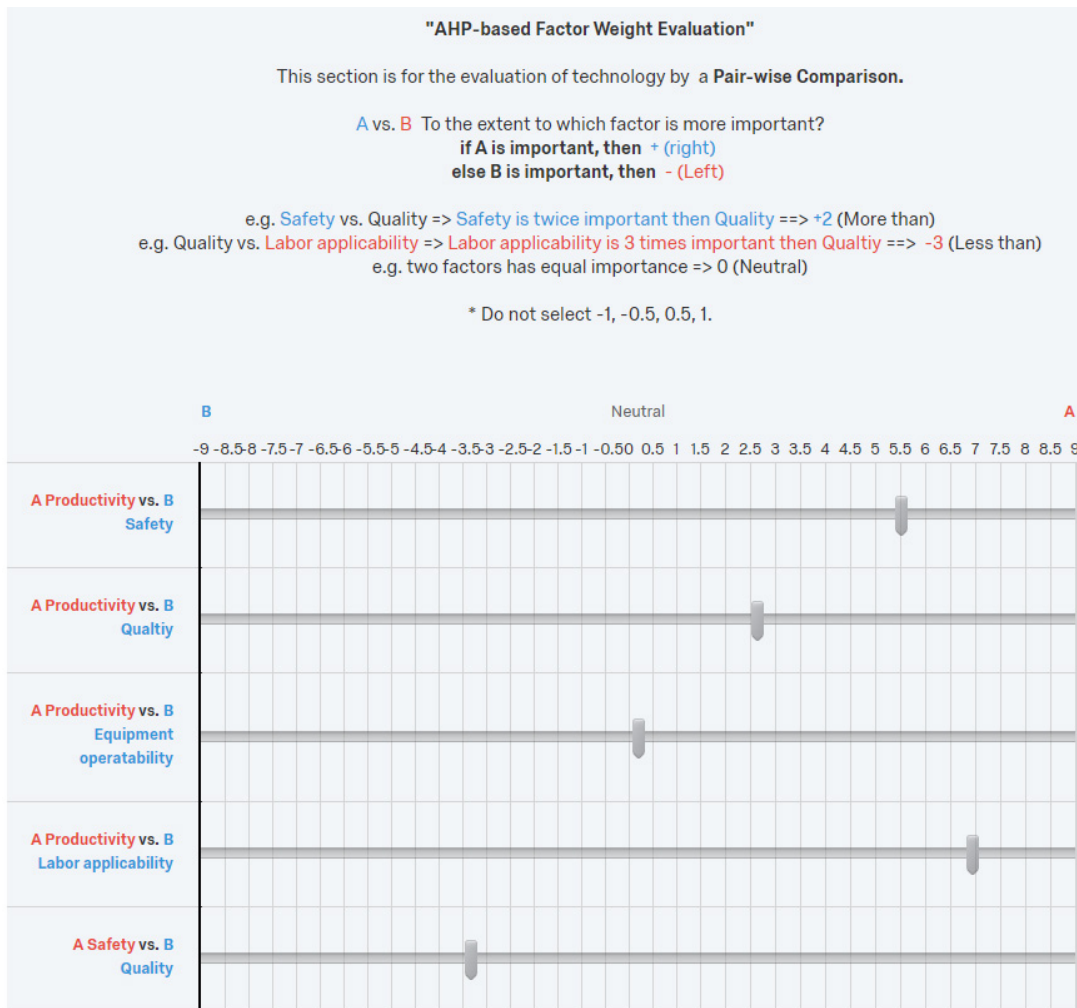


Fig. 2. AHP Questionnaire for Construction Technology Evaluation

Earthwork Construction Automation, Technology Prioritization

Based on your personal experience and knowledge,
Please evaluate following technologies for each factors with 200 points

- 1-1 Earthwork fleet management platformization
- 1-2 Networking Technology for construction site
- 1-3 Civil BIM and its related technology
- 1-4 Earthwork equipment combination assessment considering the different levels of automation
- 2-1 Tele-operation systems for unmanned earthwork
- 2-2 Information and communication technology for remote operation of the machine operation (linked to the fleet management system)
- 2-3 Earthwork IoT sensors
- 2-4 wireless sensors for machine guidance and machine control

Earthwork fleet management platformization
- A platform technology for the integrated identification of the location of construction equipment, task performance, task information, sensors, design data



Fig. 3. Questionnaire form for Evaluation of Earthwork Related Technologies

점수를 산정하였다. 앞서 AHP를 통해 5개 세부요인의 가중치를 산정하였으며, 필요성과 기대효과의 배점은 60대 40으로 하였다(Fig. 3).

4. 결과 및 토론

4.1 AHP 분석 결과

총 25명의 AHP 쌍대비교 데이터를 기하평균(Geometric mean)을 적용하여 분석한 결과, 생산성이 가장 높은 비중(0.45)으로 차지하는 것으로 분석되었고, 그 다음으로 안전(0.23), 장비 운용성(0.16)순이었다. 일관성 지수(Consistency index)는 0.15로 분석되었으며, 이는 Saaty가 제안한 0.1보다는 높은 수준이지만, 최근 연구에 따르면 CI가 0.1보다 크더라도 분석에 지장이 없으므로, 0.1이 넘는 케이스를 제거하지 않고 전체 평균을 내어 계산하였다(Wedley, 1993; Ho

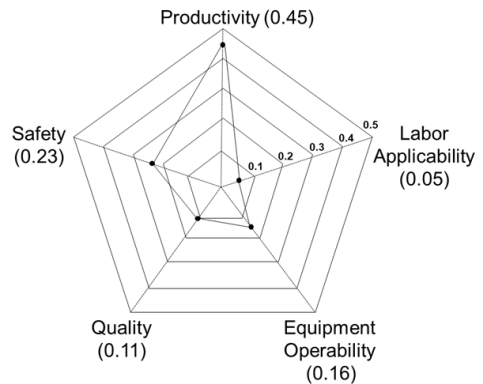


Fig. 4. The Results of Weights for Each Evaluation Factors

et al., 2005). 그 결과, 생산성 0.45, 안전 0.23, 장비 운용성 0.16, 품질 0.11, 노동력 활용성 0.05로 분석되었다(Fig. 4).

이러한 결과를 얻게 된 이유는 주로 토공사가 가지는 작업 생산성의 중요도가 큰 영향을 미친 것으로 보인다. 토공사는 단지조성공사의 대부분을 차지하고 있고 그만큼 작은 생산성의 향상으로도 전체 공사비의 상당부분이 절감되는 효과를 거둘 수 있기 때문에, 생산성이 자동화 기술의 가장 큰 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 또한 최근 건설 안전 기술에 대한 학계 및 업계의 관심이 높아진 것을 반영하듯, 안전이 2번째 중요도로 분석되었다. 이는 안전사고와 관련된 법안이나 과급력이 증대된 것을 나타내는 것으로 보이며, 건설 장비의 전도, 작업자외의 협착 및 충돌과 같은 사고들의 발생을 줄이기 위한 안전 기술의 필요성을 강조하는 것으로 보인다. 그 다음으로 장비 운용성의 중요도가 높게 나왔는데, 다른 평가 요인(품질, 작업자 활용성)등과 비교하여 토공사의 건설장비 의존도가 절대적으로 높다는 현실을 반영한 것으로 판단된다. 이는 실제 설문지의 코멘트에서도 “최근 각광받는 머신 가이드스, 머신 컨트롤

기술의 경우 시공 효율이 기존대비 50~100 % 향상되는 것뿐만 아니라 시공 품질도 증대되는 것으로 알려져 있음”과 같이 장비 운용성이 증가되는 것이 궁극적으로 품질을 향상시키는 것과 연결되어 있다고 판단하는 것으로 보인다. 이에 반해 노동력 활용성은 건설 자동화 기술의 목표중 하나인 무인화, 측량검측 감소, 원격 시공과 같은 노동집약적 산업의 탈피와는 거리가 먼 평가요인으로서, 상대적으로 낮은 중요도를 가지는 것으로 분석되었다.

4.2 우선순위 도출 결과 및 토론

세부 기술별 우선순위 도출 결과는 다음의 Table 4와 같이 분석되었다. 1-1의 토공 관계기술 및 이와 관련된 인프라 기술에서는 토공 관계 플랫폼화, 자동화 수준별 맞춤 장비 투입 조합 선정 기술, 건설 현장 네트워크 기술, 그리고 Civil BIM 연계 기술의 순으로 연구개발 순위가 결정되었으며, 2-1의 토공장비 자동화

Table 4. The Number of Responses for Each Work Categorization and Years of Experience

No.	Necessity	Productivity	Equipment applicability	Safety	Quality	Labor Applicability	Rank
1-1	1 (108.07)	1 (15.04)	1 (21.99)	2 (11.02)	2 (11.90)	1 (6.82)	1 (174.85)
1-2	3 (100.54)	4 (13.36)	4 (19.02)	4 (10.38)	4 (11.43)	3 (6.56)	3 (161.30)
1-3	4 (98.04)	3 (13.40)	3 (19.23)	3 (10.80)	3 (11.59)	4 (6.43)	4 (159.49)
1-4	2 (102.96)	2 (14.22)	2 (20.68)	1 (11.20)	1 (12.26)	2 (6.75)	2 (168.08)
2-1	1 (113.40)	1 (15.70)	1 (22.11)	1 (12.19)	2 (12.56)	1 (7.16)	1 (183.11)
2-2	3 (108.98)	4 (14.81)	3 (20.74)	2 (11.77)	4 (11.91)	3 (6.58)	3 (174.79)
2-3	2 (110.14)	2 (15.16)	2 (21.04)	3 (11.54)	1 (13.04)	2 (6.86)	2 (177.79)
2-4	4 (108.24)	3 (15.04)	4 (19.56)	4 (11.33)	3 (12.25)	4 (6.30)	4 (172.73)

Table 5. The Result of Sensitivity Analysis in Relation to Weight Distribution between the Weight of Necessity and Rest of 5 Evaluation Factors (Necessity/5 Evaluation Factors)

Technology No.	60/40	50/50	40/60	30/70
1-1	1	1	1	1
1-2	3	3	3	3
1-3	4	4	4	4
1-4	2	2	2	2
2-1	1	1	1	1
2-2	3	3	3	3
2-3	2	2	2	2
2-4	4	4	4	4

및 단지조성공사 현장정보 취득 기술에서는 무인화 시공을 위한 원격 제어 시스템, 토공 관련 IoT 센서 개발, 관제 기술과 연계된 원격 통신 기술, 마지막으로 머신 가이던스 및 컨트롤 센서 무선화 기술의 순으로 분석되었다.

대부분의 기술 순위는 필요성에 큰 영향을 받은 것으로 보이며, 이는 필요성의 배점에 60 %를 둔 것에 기인한 것으로 판단된다. 또한 5가지 세부 평가 요인중 생산성과 관련된 비중이 높은 점을 고려하였을 때, 생산성 평가 점수 역시 전체 순위에 큰 영향을 준 것으로 분석되었다. 세부 기술별 평가 결과에 따른 해석으로서, 국가가 토공부문 연구개발의 주요 동인으로 본다면 거시적 수준의 통합 관제 기술과 플랫폼화에 높은 평가를 받은 것으로 판단된다. 특히 토지구택공사와 같은 공기업의 역할은 사업시행 레벨에서 시공 효율을 측정하고 관리해야 한다는 점이 평가 결과에 영향을 미친 것으로 볼 수 있다.

세부 기술중 14는 설문 대상자가 해석에 따라 연구부문 “자동화 수준”별 다양하고 심층적인 연구아이템들이 내재되어 있는 것으로 판단했을 가능성이 있다. 머신 가이던스, 머신 컨트롤, 원격, 완전 자율등 핵심 자동화 연구 아이템들이 종합적으로 포함되어 있는 연구과제로서 보일 수 있으며, 이것이 연구 개발자 입장에서는 폭넓은 범위의 연구개발 과제가 내포되어 있어 높은 평가를 준 것으로 판단될 수 있다. 일부 평가위원 중 필요성에 대한 배점에 관하여 지적한 바, 본 연구에서는 민감도 분석을 수행하였으며, 필요성의 배점이 60부터 30까지 낮추면서 세부평가요인의 배점을

높여 순위를 측정하였다. 그 결과 Table 5와 같이 우선순위 평가에는 아무런 영향을 주지 못하는 것으로 분석되었다. 이는 우선순위 평가시 높은 필요성과 생산성, 안전, 장비 운용성과 같은 가중치가 높은 요인에 비슷한 평가를 한 것으로 해석할 수 있다.

4.3 단지조성 토공부문 건설 자동화 기술개발 로드맵 수립

본 연구를 통해 도출된 단지조성 토공부문 건설 자동화 기술의 우선순위와 중요도를 바탕으로 세부연구 아이템과 더불어 전체 기술개발 로드맵을 위한 프레임워크 개발, 전사적 차원에서의 관리 기법 등을 포함하는 로드맵을 Fig. 5와 같이 제안하고자 한다. 최상단에는 프레임워크와 관련된 로드맵을, 나머지 4개 기술은 우선순위에 높은 점수를 얻은 기술들을 주로 배치하여 기술개발의 순서를 나타내었다.

5. 결론

본 논문에서는 단지조성공사 토공부문 건설자동화와 관련된 후보 기술을 기 개발 및 운용중인 선진 기술을 분석함으로써 도출하였고, 이를 AHP를 통한 평가요인별 중요도 산정 및 필요성과 5가지 세부 평가요인별 우선순위 평가를 통해 각 세부 기술간의 연구개발 우선순위를 평가하였다. 대부분의 전문가는 연구개발 부문에 종사하고 있으므로 국가 R&D 사업의 차원에서 의미 있는 결과가 도출되었을 것이라 판단하며, 반면에 엔지니어링 및 시공부

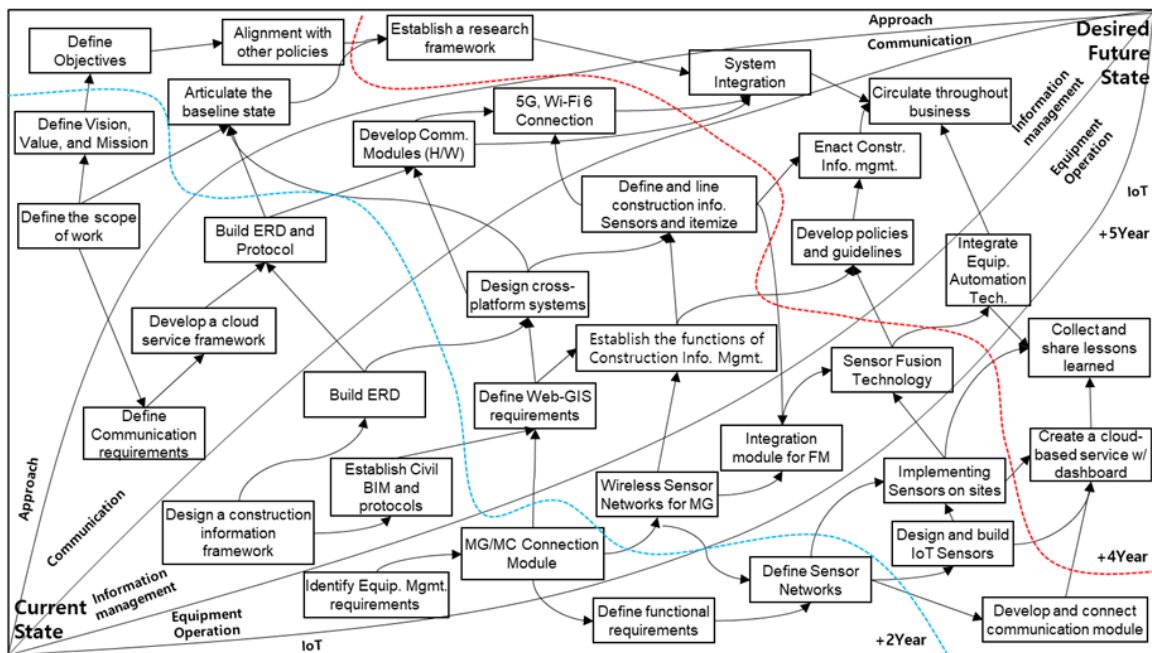


Fig. 5. Earhwork Technology Roadmap for Land Development

문 전문가의 의견의 비중이 낮다는 점을 고려하였을 때 실무에서 요구하는 기술 우선순위 의견을 제한적으로 청취하였다는 점은 본 연구의 한계라고 할 수 있다. 웹기반 설문지를 통해 일반적인 서면 평가가 가지는 설문 배포 및 수거에 걸리는 시간을 단축하였으며, 모든 설문응답자는 특별한 이상치 없이 일관된 응답의견을 보였다는 점에서 웹기반 설문지의 효율성 및 편의성 또한 확인할 수 있었다.

본 연구에서 높은 우선순위를 가진 토공부문 건설 자동화 기술은 기존의 건설 장비에 국한된 관계기술에서 벗어나 건설 정보를 하나의 플랫폼으로 통합하고, 이를 바탕으로 건설 장비의 원격 제어 및 원격 작업 생산성의 증대를 위한 수요자 측면의 요구를 정량화 한 결과로써, 향후 연구개발 기획 및 로드맵에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 순위가 낮은 세부 기술일지라도 국가 연구개발 정책 방향과 일치하거나, 특히 IoT 센서 개발과 같은 핵심 소재 및 부품 개발과 연관된 연구과제는 향후 건설 산업의 원천기술 확보를 위해 필요할 수도 있을 것이다. 추후 연구로는 본 연구과제의 전문가 대상을 설계, 엔지니어링, 종합시공사, 전문건설사 등으로 폭을 넓혀서 보다 엔드유저 입장의 수요를 반영하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국토지주택공사 “혁신성장 선도를 위한 건설자동화 추진전략수립 학술연구 용역”의 연구비지원(1803659-00)에 의해 수행되었습니다.

References

- DOOSAN Infracore (2019). *DoosanCONNECT*, Available at: <http://www.doosaninfracore.com/ce/kr/customer/doorsanconnect/> (Accessed: September 7, 2019).
- Hanyang University (2012). *Smart construction system based on operation of carbon reducing construction equipment*, Seoul: Korea Institute of Construction & Transportation Technology Evaluation and Planning (in Korean).
- Hanyang University (2018). *Fleet management for construction equipment and technology Smart construction using ICT*, Gyeonggi-do: Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) (in Korean).
- Hare, W. L., Koch, V. R. and Lucet, Y. (2011). “Models and algorithms to improve earthwork operations in road design using mixed integer linear programming.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 215, No. 5, pp. 470-480.
- Ho, D., Newell, G. and Walker, A. (2005). “The importance of property-specific attributes in assessing CBD office building quality.” *Journal of Property Investment & Finance*, Vol. 23, No. 5, pp. 424-444
- John Deere (2019). MyJohnDeere Login, Available at: <https://myjohndeere.deere.com> (Accessed: September 11, 2019).
- Komatsu Ltd. (2019). *KOMTRAX | Service | Komatsu Industries Corp.*, Available at: <https://sanki.komatsu/en/service/komtrax.html> (Accessed: September 11, 2019).
- Korea Land & Housing Corporation (LH) (2019). *New town, land development, and urban regeneration*, Available at: <http://www.lh.or.kr/contents/cont.do> (Accessed: September 9, 2019).
- Lee, S. M., Park, S. I., Lee, R. H. and Seo, J. W. (2018). “Development of intelligent compaction system for efficient quality control.” *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 38, No. 5, pp. 751-760 (in Korean).
- Leica Geosystems (2019). *Machine control systems*, Available at: <https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems> (Accessed: September 15, 2019).
- Myongji University (2016). *Research service for estimating the optimum size of employment of korean construction industry in 2017*, Seoul: Human Resources Development Service of Korea (HRD Korea) (in Korean).
- Saaty, T. L. (2008). “Decision making with the analytic hierarchy process.” *International journal of services sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98.
- Trimble Inc. (2019a). *Leverage the power of telematics data? improve your bottom line*, Available at: <https://www.myvisionlink.com/> (Accessed: September 11, 2019).
- Trimble Inc. (2019b). *Machine control*, Available at: <https://construction.trimble.com/products-and-solutions/machine-control> (Accessed: September 15, 2019).
- Volvo (2019). *Active machine telematics monitoring for fleet utilization? ActiveCare direct? Volvo Construction Equipment*, Available at: <https://www.volvoce.com/united-states/en-us/services/volvoservices/uptime-services/activecare-direct/> (Accessed: September 11, 2019).
- Wedley, W. C. (1993). “Consistency prediction for incomplete AHP matrices.” *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 17, No. 4-5, pp. 151-161.